

(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

(12) Offenlegungsschrift
(10) DE 197 17 596 A 1

P 609663 DE 01
(51) Int. Cl. 6:
G 01 R 31/08

(71) Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

(72) Erfinder:
Philippot, Luc, Dr.-Ing., 71229 Leonberg, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

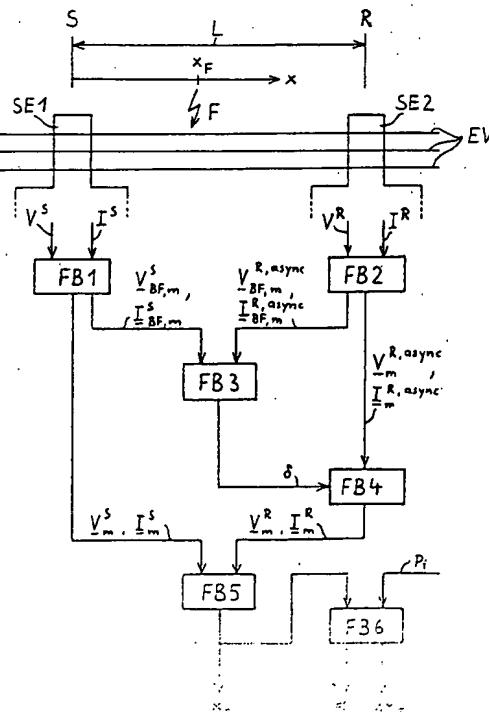
DE 44 41 334 C1
JOHNS, A.T., et.al.: Accurate fault location technique for power transmission lines. In: IEEE Proceedings, Vol. 137, Pt.C, No. 6, Nov. 1990, S.359-402;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Einrichtung zur Ortung eines Fehlers in einem elektrischen Energieübertragungssystem

(55) Der Ort eines Fehlers in einem elektrischen Energieübertragungssystem wird aufgrund von Meßgrößen und Modellgleichungen ermittelt.

Zusätzlich wird eine Aussage über die Genauigkeit der Schätzung des Fehlerortes (x_F) in Form einer Variation ($\delta(x_F)$) des geschätzten Fehlerortes (x_F) in Abhängigkeit von maximalen Fehlern der Meßgrößen und Modellgleichungsparameter (p_i), in Form der Varianz (σ^2) und/oder eines Vertrauensintervalls (Δx_F) für den ermittelten Fehlerort (x_F) getroffen.



DE 197 17 596 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Ortung eines Fehlers in einem elektrischen Energieübertragungssystem entsprechend dem Oberbegriff der Ansprüche 1 oder 2.

Bei einer derartigen, aus der DE 44 41 334 C1 bekannten Einrichtung sind an beiden Enden eines zu überwachenden Abschnittes einer mehrphasigen Energieversorgungsleitung Schutz- oder Registriereinrichtungen angeordnet, die als Meßgrößen die Spannungen und Ströme erfassen und für einen Zeitraum unmittelbar vor Auftreten des Fehlers und für die Zeit während des Fehlers speichern. Aus den vor dem Auftreten des Fehlers, d. h. bei ungestörten Leitungsverhältnissen, erfaßten Strömen und Spannungen wird zunächst mit Hilfe von komplexen Modellgleichungen (Leitungsgleichungen) der Energieversorgungsleitung die Phasenverschiebung zwischen den an dem einen Ende des zu überwachten Leitungsabschnittes und den an dem anderen Ende erfaßten Strömen und Spannungen ermittelt. Anschließend wird unter Berücksichtigung dieser Phasenverschiebung aus den Differenzströmen und -spannungen zwischen den vor dem Auftreten des Fehlers und den danach erfaßten Strömen und Spannungen mit Hilfe der Leitungsgleichungen unter der Annahme eines Kurzschlußfehlers der Fehlerort ermittelt, wobei festgestellt oder bestätigt werden kann, ob der Fehler ein Kurzschlußfehler ist. Dazu wird sowohl von dem einen Ende als auch von dem anderen Ende des Leitungsabschnittes ausgehend mit den dort gemessenen Strömen und Spannungen und den Leitungsgleichungen jeweils die Spannung auf der Leitung als Funktion des Ortes ermittelt, wobei an dem Fehlerort im Falle eines Kurzschlußfehlers, im Unterschied zu einer Leitungsunterbrechung, aus Gründen der Spannungskontinuität die von beiden Enden her ermittelten Spannungen gleich sein müssen. Zur Erhöhung der Genauigkeit erfolgt die rechnerische Bestimmung des Fehlerortes nicht nur für einen, sondern für mehrere sogenannte aeriale Modi, so daß sich statt einer Gleichung mehrere überbestimmte Gleichungen ergeben. Diese Gleichungen werden nach der Methode des kleinsten Fehlerquadrats gelöst.

Die Genauigkeit bei der Bestimmung des Fehlerortes wird dadurch beeinträchtigt, daß die Meßgrößen und die Modellgleichungen (Leitungsgleichungen) einschließlich der darin verwendeten Modellgleichungsparameter (Leitungswiderstand, -kapazität, -induktivität) fehlerbehaftet sind.

Der Erfundung liegt daher die Aufgabe zugrunde, zusammen mit der Schätzung des Fehlerortes eine Aussage über die Genauigkeit der Schätzung des Fehlerortes zu ermöglichen.

Gemäß der Erfundung wird die Aufgabe durch die in Anspruch 1 bzw. Anspruch 2 angegebene Einrichtung gelöst.

Mit der erfundungsgemäßen Einrichtung wird also mit Hilfe der Modellgleichungen zusätzlich zu dem geschätzten Fehlerort aufgrund von vorgegebenen maximalen Meßgrößenfehlern und Parameterfehlern die daraus resultierende Variation des geschätzten Fehlerortes bzw. ein Vertrauensintervall um den geschätzten Fehlerort, also ein Toleranzbereich, ermittelt und ausgegeben, innerhalb dessen mit hoher Wahrscheinlichkeit der tatsächliche Fehlerort liegt. Aufgrund dieser zusätzlichen Informationen wird das Auffinden des tatsächlichen Fehlerortes in dem gestörten Energieübertragungssystem erleichtert. Die Größe des Vertrauensintervalls weist dabei auf die Brauchbarkeit des geschätzten Werts für den Fehlerort hin; je größer das Vertrauensintervall ist, um so weniger brauchbar ist der für den Fehlerort ermittelte Wert.

Die in Anspruch 1 bzw. 2 angegebenen partiellen Ableitungen der Spannungszeigerfehler nach den Meßgrößen und Modellgleichungsparametern sind ein Maß für die Sensitivität des Spannungszeigerfehlers gegenüber den jeweiligen Meßgrößen- und Parameterfehlern. Dadurch ist in vorteilhafter Weise die Möglichkeit gegeben, den Einfluß einzelner Modellgleichungsparameter auf die Genauigkeit bei der Ermittlung des Fehlerortes zu bestimmen und ggf. entsprechende Korrekturen der betreffenden Modellgleichungsparameter vorzunehmen.

Da die Phasenverschiebung zwischen den Phasenreferenzen der Spannungs- und Stromzeiger an den unterschiedlichen Enden des Überwachungsbereichs nicht gemessen wird, sondern durch die Einrichtung im Rahmen der Ermittlung des Fehlerortes berechnet wird, kann auch kein Meßfehler für die Phasenverschiebung vorgegeben werden. Aus diesem Grunde wird vorzugsweise für die Meßgrößenfehler jeweils nur ein Betrag des Meßgrößenfehlers geschätzt, der dann mit einem komplexen Einheitszeiger multipliziert wird, dessen Richtung der partiellen Ableitung des Spannungszeigerfehlers nach dem Ort entspricht.

Zur weiteren Erläuterung der Erfundung wird im folgenden auf die Figur der Zeichnung Bezug genommen, die ein Ausführungsbeispiel der erfundungsgemäßen Einrichtung in Form eines Blockschaltbildes zeigt.

Ein elektrisches Energieübertragungssystem, hier eine dreiphasige Energieversorgungsleitung EV, wird in einem Überwachungsbereich (Leitungsabschnitt) der Länge L zwischen zwei Enden S und R mittels dort angeordneter Schutz- oder Registriereinrichtungen SE1 und SE2 auf das Auftreten eines Fehlers F überwacht. Die Schutzeinrichtungen SE1 und SE2 können hier nicht gezeigte Anregeschaltungen enthalten, die im Fehlerfall eine Abschaltung des fehlerbehafteten Leitungselementes auslösen.

Um den Ort x_F des Fehlers F, hier z. B. von dem Ende S ausgehend, ermitteln zu können, werden in beiden Schutzeinrichtungen SE1 und SE2 die dort in den drei Phasenleitern der Leitung EV auftretenden Ströme I^S , I^R und die Spannungen V^S , V^R zwischen den drei Phasenleitern und der Erde gemessen und für einen vorgegebenen Zeitraum unmittelbar vor dem Auftreten des Fehlers F sowie für die Zeit danach während der Dauer des Fehlers gespeichert.

In einem ersten Schritt werden zunächst aus den vor dem Auftreten des Fehlers F, d. h. bei ungestörten Leitungsverhältnissen, erfaßten Strömen und Spannungen in Funktionsblöcken FB1 und FB2 auf der Grundlage der sogenannten Clarke-Transformation für unterschiedliche aeriale Modi $m = \alpha, \beta$ Spannungszeiger $V_{BF,m}^S$ bzw. $V_{BF,m}^{R,async}$ und Stromzeiger $I_{BF,m}^S$ bzw. $I_{BF,m}^{R,async}$ gebildet. Hierbei bedeutet die Abkürzung "BF" before fault, während "async" ausdrückt, daß die dem Ende R zugeordneten Zeiger nicht mit denen des Endes S synchronisiert sind. Anschließend wird in einem weiteren Funktionsblock FB3 aufgrund der Spannungs- und Stromzeiger mit Hilfe von komplexen Modellgleichungen der Energieversorgungsleitung EV, hier den Leitungsgleichungen, die Phasenverschiebung δ zwischen den Phasenreferenzen der Zeiger an den unterschiedlichen Enden S und R berechnet. Auf die Art und Weise der Berechnung der Phasenverschiebung δ wird hier nicht näher eingegangen, da sie für die folgenden Erläuterungen ohne Bedeutung und darüber hinaus aus der eingangs erwähnten DE 44 41 334 C1 bekannt ist.

In einem zweiten Schritt wird jetzt der Fehlerort x_F ermittelt. Dazu werden für die beiden Enden S und R des Überwachungsbereichs jeweils aus den eben vor dem Auftreten des Fehlers F erfaßten Strömen und Spannungen und den zu

dem Auftreten des Fehlers F erfaßten Strömen und Spannungen Differenzströme und Differenzspannungen gebildet, die in den Funktionsblöcken FB1 und FB2 zu Stromzeigern $I_m^S, I_m^{R,async}$ und Spannungszeigern $V_m^S, V_m^{R,async}$ transformiert werden. Dabei werden die für das Ende R ermittelten Zeiger $I_m^{R,async}$ und $V_m^{R,async}$ in einem Funktionsblock FB4 um die in dem Funktionsblock FB3 ermittelte Phasenverschiebung δ gedreht, d. h. mit $e^{j\delta}$ multipliziert, so daß damit die phasenrichtigen Zeiger I_m^R und V_m^R erhalten werden.

In einem Funktionsblock FB5 wird von dem Ende S des Überwachungsbereichs ausgehend mit den für diese Stelle ermittelten Spannungszeigern V_m^S und Stromzeigern I_m^S und den Modellgleichungen (Leitungsgleichungen) der Energieversorgungsleitung EV für jeden Modus m jeweils die Spannung $V_m^S(x)$ auf der Leitung EV als Funktion des Ortes x ermittelt. Ebenso wird auch von dem Ende R des überwachungsbereiches ausgehend mit den dortigen Spannungszeigern V_m^R und den Stromzeigern I_m^R und den Modellgleichungen der Energieversorgungsleitung EV für jeden Modus m jeweils die Spannung $V_m^R(L-x)$ auf der Leitung EV als Funktion des Ortes L-x ermittelt:

$$\underline{V}_m^S(x) = \cosh(\gamma_m \cdot x) \cdot \underline{V}_m^S - Zc_m \cdot \sinh(\gamma_m \cdot x) \cdot \underline{I}_m^S - j\omega l_{m0} \cdot x \cdot \underline{I}_0^{S, equ} \\ - j\omega l_{mm'} \cdot x \cdot \underline{I}_{m'}^{S, equ}$$

5

10

15

$$\underline{V}_m^R(L-x) = \cosh(\gamma_m \cdot (L-x)) \cdot \underline{V}_m^R - Zc_m \cdot \sinh(\gamma_m \cdot (L-x)) \cdot \underline{I}_m^R - j\omega l_{m0} \cdot (L-x) \cdot \underline{I}_0^{R, equ} \\ - j\omega l_{mm'} \cdot (L-x) \cdot \underline{I}_{m'}^{R, equ}$$

20

In diesen beiden Gleichungen ist mit Zc_m die jeweilige modale Leitungsimpedanz und mit γ_m die modale Ausbreitungskonstante bezeichnet. Die Induktivitätsbeläge l_{m0} und $l_{mm'}$ repräsentieren die Kopplung zwischen den Modi m und 0 (Erde) bzw. m und m', wobei m' einen anderen Modus als m bezeichnet. Die Abkürzung "equ" steht dafür, daß es sich jeweils um einen Strom handelt, der von der Meßstelle S bzw. R bis zu dem Ort x integriert ist.

25

Die beiden oben stehenden Gleichungen sind jeweils nur für die ungestörten Teile der Leitung EV, also vom Ende S bis zu dem zu ermittelnden Fehlerort x_F bzw. von dem Ende R bis zu dem Fehlerort x_F gültig, wobei an dem Fehlerort x_F unter der Annahme, daß es sich bei dem Fehler um einen Kurzschlußfehler handelt, aufgrund der Spannungskontinuität $V_m^S(x_F)=V_m^R(L-x_F)$ gelten muß. Da jedoch sowohl die Messungen der Ströme und Spannungen als auch die verwendeten Modellgleichungen und ihre Modellgleichungsparameter fehlerbehaftet sind, ergibt sich ein Spannungszeigerfehler $\varepsilon_m(x_F)=V_m^S(x_F)-V_m^R(L-x_F)$. Die Spannungszeigerfehler $\varepsilon_m(x_F)$ für die verschiedenen Modi m werden quadriert und in einer Kostenfunktion

30

35

$$K(x_F) = \sum_m |\varepsilon_m(x_F)|^2$$

aufsummiert, durch deren Minimierung, d. h. $\partial K(x_F)/\partial x_F=0$, der Fehlerort x_F ermittelt und ausgegeben wird.

40

Die Genauigkeit, mit der die Schätzung des Fehlerortes x_F erfolgt, ist dadurch beeinträchtigt, daß die Meßgrößen, also die gemessenen Ströme I^S, I^R und Spannungen V^S, V^R , und die verwendeten Modellgleichungen einschließlich der Modellgleichungsparameter, also der für die Leitungsimpedanz Zc und die Ausbreitungskonstante γ_m maßgebliche Widerstands-, Kapazitäts- und Induktivitätsbelag der Leitung EV, fehlerbehaftet sind. Um eine Aussage über die Genauigkeit der Fehlerortbestimmung zu ermöglichen, wird daher in einem Funktionsblock FB6 die aus solchen Fehlern resultierende Variation des geschätzten Fehlerorts x_F sowie ein Vertrauensintervall (Toleranzbereich) Δx_F ermittelt, innerhalb dessen mit hoher Wahrscheinlichkeit der tatsächliche Fehlerort liegt.

45

Hierzu wird zunächst für die verschiedenen Modi m jeweils die Abhängigkeit des Spannungszeigerfehlers $\varepsilon_m(x_F)$ von fehlerbedingten Variationen von insgesamt $i = 1 \dots N$ vorgegebenen Meßgrößen und Modellgleichungsparametern p_i und der daraus resultierenden Variation des geschätzten Fehlerorts x_F ermittelt, indem für jeden Modus m jeweils die partiellen Ableitungen der Spannungszeigerfehler nach den fehlerbehafteten Meßgrößen und Modellgleichungsparametern p_i und nach dem Ort x_F gebildet und anschließend jeweils mit geschätzten oder in sonstiger Weise vorgegebenen maximalen Meßgrößen- und Parameterfehlern δp_i bzw. mit einer Variablen δx_F für die unbekannte, zu bestimmende Variation des geschätzten Fehlerortes x_F multipliziert und anschließend aufsummiert werden:

50

55

$$\varepsilon_m(\delta x_F, \delta p_i) = \frac{\partial \varepsilon_m(x_F)}{\partial x_F} \cdot \delta x_F + \sum_{i=1}^N \frac{\partial \varepsilon_m(x_F)}{\partial p_i} \cdot \delta p_i.$$

Die einzelnen partiellen Ableitungen sind dabei jeweils ein Maß für die Sensitivität des Spannungszeigerfehlers $\varepsilon_m(\delta x_F, \delta p_i)$ gegenüber Variationen der einzelnen Meßgrößen und Modellgleichungsparameter p_i und der daraus resultierenden Variation des Fehlerortes x_F . Die Summenbildung berücksichtigt den schlimmsten Fall, daß sich nämlich die Einzelsehler nicht gegenseitig kompensieren können, sondern sich mit größtmöglicher Wirkung überlagern.

60

65

Die Spannungszeigerfehler $\varepsilon_m(\delta x_F, \delta p_i)$ für die verschiedenen Modi $m = 1 \dots M$ lassen sich wie folgt in einem Fehlervektor $[E]$ zusammenfassen. $[E]=[S]^T \cdot \delta x_F + [T]^T \cdot [\delta p]$, wobei $[S]$ und $[T]$ (1xM)- bzw. (NxM)-Sensitivitätsmatrizen sind und $[\delta p]$ ein Vektor der $i = 1 \dots N$ verschiedenen vorgegebenen Meßgrößen- und Parameterfehlern δp_i ist.

Die Bestimmung der durch die Meßgrößen- und Parameterschäler δp_i verursachten Variation des geschätzten Fehlerortes x_F erfolgt nach der Methode des kleinsten Fehlerquadrats, indem eine Kostenfunktion $K=[E]^T \cdot [E]$ gebildet wird, deren Minimum mit $\delta x_F = \partial K / \partial \delta x_F = [T] \cdot [\delta p]$ bestimmt wird. x_F variiert in dem Maße, in dem δx_F variiert.

fehlerbedingte Variation des Fehlerortes x_F :

$$\delta x_F = -(\underline{S} \cdot [\underline{S}]^T)^{-1} \cdot [\underline{S}] \cdot [\underline{T}]^T \cdot [\delta p] = [\underline{W}] \cdot [\delta p].$$

5 Dabei ist $[\underline{W}]$ eine $(1 \times N)$ -Matrix.

Ausgehend von der Annahme, daß die Meßgrößen- und Parameterfehler δp_i unbeeinflußt und voneinander unabhängig sind, ergibt sich die Varianz σ^2 des Fehlerortes x_F zu

$$\sigma^2 = [\underline{W}] \cdot [\Sigma_p] \cdot [\underline{W}]^T \text{ mit } [\Sigma_p] = [\underline{E}] \cdot ([\delta p]^T \cdot [\delta p])$$

10

wobei $[\underline{E}]$ eine Einheitsmatrix bezeichnet. Das Vertrauensintervall Δx_F in dem der tatsächliche Fehlerort x_F liegt, bestimmt sich bei einer statistischen Sicherheit von 95% zu $\Delta x_F = +/- 1,96 \cdot \sigma$.

Da, wie oben beschrieben, die Phasenverschiebung δ zwischen den Phasenreferenzen der Strom- und Spannungszeiger an den unterschiedlichen Enden S und R des Überwachungsbereichs nicht gemessen wird, sondern im Rahmen der Ermittlung des Fehlerortes x_F berechnet wird, kann auch kein Meßfehler für die Phasenverschiebung δ vorgegeben werden. Aus diesem Grunde wird für die Meßgrößenfehler jeweils nur ein Betrag der Strom- und Spannungsfehler geschätzt, der dann mit einem komplexen Einheitszeiger

20

$$1 = \frac{\partial \underline{\varepsilon}_m(x_F)}{\partial x_F} / \left| \frac{\partial \underline{\varepsilon}_m(x_F)}{\partial x_F} \right|$$

multipliziert wird, dessen Richtung der partiellen Ableitung des Spannungszeigerfehlers $\underline{\varepsilon}_m(x_F)$ nach dem Ort x_F entspricht.

25

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Ortung eines Fehlers in einem elektrischen Energieübertragungssystem (EV) zwischen den Enden (S, R) eines Überwachungsbereichs, in der

30

- die Spannungen (V^S , V^R) und Ströme (I^S , I^R) an den Enden (S, R) gemessen werden,
- im Fehlerfall ausgehend von jedem Ende (S, R) und den dort gemessenen Strömen und Spannungen sowie für unterschiedliche aeriale Modi (m) mittels komplexer Modellgleichungen des Energieübertragungssystems (EV) jeweils ein Spannungszeiger ($V_m^S(x)$, $V_m^R(L-x)$) für die Spannung in dem Energieübertragungssystem (EV) als Funktion ihres Ortes (x) ermittelt wird und

35

- die Spannungszeigerfehler ($\underline{\varepsilon}_m(x_F)$) zwischen den für jeweils gleiche Modi (m) von den unterschiedlichen Enden (S, R) des Überwachungsbereichs aus ermittelten Spannungszeigern quadriert und in einer Kostenfunktion ($K(x_F)$) aufsummiert werden, durch deren Minimierung der Fehlerort (x_F) ermittelt wird,

gekennzeichnet durch Mittel (FB6) zur Bestimmung der Variation des ermittelten Fehlerortes (x_F) in Abhängigkeit von vorgegebenen oder geschätzten maximalen Fehlern (δp_i) vorgegebener fehlerbehafteter Meßgrößen und/oder Modellgleichungsparameter (p_i), in denen:

40

- für jeden Modus (m) die partiellen Ableitungen der ermittelten Spannungszeigerfehler ($\underline{\varepsilon}_m(x_F)$) nach dem Ort (x_F) und nach den vorgegebenen fehlerbehafteten Meßgrößen und/oder Modellgleichungsparametern (p_i) mit einer Variablen (δx_F) für die zu bestimmende Variation des ermittelten Fehlerortes (x_F) bzw. mit den vorgegebenen oder geschätzten maximalen Meßgrößen- und Parameterfehlern (δp_i) multipliziert und zu einer Fehlergröße ($\underline{\varepsilon}_m(\delta x_F, \delta p_i)$) aufsummiert werden und
- die für die unterschiedlichen Modi (m) erhaltenen Fehlergrößen ($[\underline{E}]^T$) quadriert und zu einer weiteren Kostenfunktion ($[\underline{K}]$) aufsummiert werden, durch deren Minimierung die Variation ($\delta(x_F)$) des ermittelten Fehlerortes (x_F) bestimmt wird.

2. Einrichtung zur Ortung eines Fehlers in einem elektrischen Energieübertragungssystem (EV) zwischen den Enden (S, R) eines Überwachungsbereichs, in der

50

- die Spannungen (V^S , V^R) und Ströme (I^S , I^R) an den Enden (S, R) gemessen werden,
- im Fehlerfall ausgehend von jedem Ende (S, R) und den dort gemessenen Strömen und Spannungen sowie für unterschiedliche aeriale Modi (m) mittels komplexer Modellgleichungen des Energieübertragungssystems (EV) jeweils ein Spannungszeiger ($V_m^S(x)$, $V_m^R(L-x)$) für die Spannung in dem Energieübertragungssystem (EV) als Funktion ihres Ortes (x) ermittelt wird und

55

- die Spannungszeigerfehler ($\underline{\varepsilon}_m(x_F)$) zwischen den für jeweils gleiche Modi (m) von den unterschiedlichen Enden (S, R) des Überwachungsbereichs aus ermittelten Spannungszeigern quadriert und in einer Kostenfunktion ($K(x_F)$) aufsummiert werden, durch deren Minimierung der Fehlerort (x_F) ermittelt wird,

gekennzeichnet durch Mittel (FB6) zur Bestimmung und Ausgabe der Varianz (σ^2) und/oder eines Vertrauensintervalls (Δx_F) für den ermittelten Fehlerort (x_F) in Abhängigkeit von vorgegebenen oder geschätzten maximalen Fehlern (δp_i) vorgegebener fehlerbehafteter Meßgrößen und/oder Modellgleichungsparameter (p_i), in denen:

60

- für jeden Modus (m) die partiellen Ableitungen der ermittelten Spannungszeigerfehler ($\underline{\varepsilon}_m(x_F)$) nach dem Ort (x_F) und nach den vorgegebenen fehlerbehafteten Meßgrößen und/oder Modellgleichungsparametern (p_i) mit einer Variablen (δx_F) für die Variation des Fehlerortes (x_F) in Abhängigkeit von den Meßgrößen- und Parameterfehlern (δp_i) bzw. mit den Meßgrößen- und Parameterfehlern (δp_i) multipliziert und zu einer Fehlergröße ($\underline{\varepsilon}_m(\delta x_F, \delta p_i)$) aufsummiert werden,

die für die unterschiedlichen Modi (m) erhaltenen Fehlergrößen ($[\underline{E}]^T$) quadriert und zu einer weiteren Kostenfunktion ($[\underline{K}]$) aufsummiert werden, durch deren Minimierung die Abhängigkeit (\underline{W}) zwischen der Varianz

riation ($\delta(x_F)$) des Fehlerortes (x_F) und den Meßgrößen- und Parameterfehlern (δp_i) ermittelt wird, und – aufgrund der ermittelten Abhängigkeit ([W]) die Varianz (σ^2) bzw. das Vertrauensintervall (Δx_F) bestimmt wird.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung der vorgegebenen maximalen Meßgrößenfehler jeweils ein geschätzter Betrag des Meßgrößenfehlers mit einem komplexen Einheitszeiger multipliziert wird, dessen Richtung der partiellen Ableitung des Spannungszeigerfehlers nach dem Ort entspricht. 5

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

